

PAT-NO: JP411289115A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11289115 A ✓
TITLE: SPIN POLARIZATION ELEMENT
PUBN-DATE: October 19, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUKAWA, NOZOMI	N/A
HIRAMOTO, MASAYOSHI	N/A
SAKAKIMA, HIROSHI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUSHITA ELECTRIC IND N/A CO LTD	

APPL-NO: JP11018342
APPL-DATE: January 27, 1999

INT-CL (IPC): H01L043/08 , G11B005/39 , H01F010/30

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the efficiency of this element by raising the polarization ratio utilizing the polarization in the magnetizing direction of the state density of carriers contributing the conduction in a ferromagnetic block.

SOLUTION: This element has at least one path for ferromagnetic blocks FM62, FS61 which are connected via a nonmagnetic block N162, and at least one of the ferromagnetic blocks FM62, FS61 has a constitution with a semiconductor or a half-metal. In at least one of the paths, the nonmagnetic block is desirably a nonmagnetic metal of

1

COPYRIGHT: (C) 1999, JPO

0941.65505

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-289115

(43) 公開日 平成11年(1999)10月19日

(51) Int.Cl.*

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/30

H 0 1 F 10/30

審査請求 有 請求項の数15 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-18342

(22) 出願日 平成11年(1999) 1月27日

(31) 優先権主張番号 特願平10-13729

(32) 優先日 平10(1998) 1月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 松川 望

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 平本 雅祥

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 柳間 裕

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

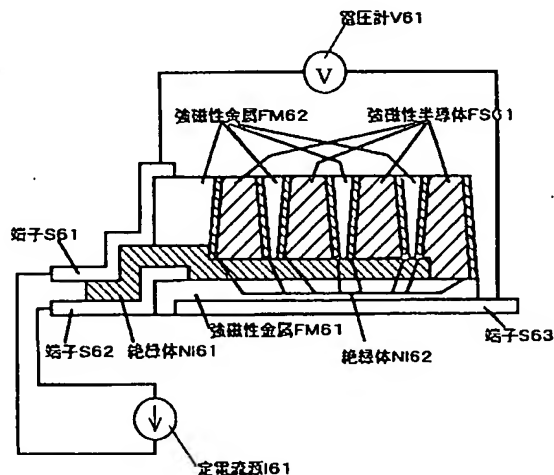
(74) 代理人 弁理士 岩崎 文雄 (外 2 名)

(54) 【発明の名称】 スピン偏極素子

(57) 【要約】

【課題】 強磁性体内での、伝導に寄与するキャリアの状態密度の磁化方向による分極を利用したスピン偏極素子において、分極率をあげるにより、素子の効率を上げる。

【解決手段】 少なくとも一つ以上、非磁性体 (N 1 6 2) を介して強磁性体 (F M 6 2、F S 6 1) が接続された経路があり、強磁性体 (F M 6 2、F S 6 1) のうち少なくとも一つが半導体もしくはハーフメタルである構成を有している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 強磁性体と非磁性体からなるスピン偏極素子であり、少なくとも一つ以上の、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路があり、かつ前記非磁性体を介して強磁性体が接合された経路を構成する強磁性体のうち少なくとも一つが半導体もしくはハーフメタルであるスピン偏極素子。

【請求項2】 非磁性体を介して強磁性体が接続された経路のうちの、少なくとも一つ以上で、前記非磁性体が非磁性金属でありかつ厚みが $1\mu\text{m}$ 以下である請求項1記載のスピン偏極素子。

【請求項3】 非磁性体を介して強磁性体が接続された経路のうちの、少なくとも一つ以上で、前記非磁性体が非磁性絶縁体でありかつ厚みが 10nm 以下である請求項1記載のスピン偏極素子。

【請求項4】 非磁性絶縁体中の磁性不純物の濃度が 100ppm 以下である請求項3記載のスピン偏極素子。

【請求項5】 少なくとも一つの非磁性体を介して強磁性体が接続された経路において、前記非磁性体のうち、少なくとも、半導体もしくはハーフメタルである強磁性体と接続される界面がCu、Rh、Pd、Ag、Ir、Pt、Au、もしくはそれらの合金とからなる請求項1もしくは2に記載のスピン偏極素子。

【請求項6】 非磁性体を介して接続された半導体である強磁性体のバンドギャップエネルギーが 1eV 以下である請求項1～5記載のスピン偏極素子。

【請求項7】 半導体もしくはハーフメタルである強磁性体が主にFe、Ni、Mn、Coから選ばれる少なくとも一種の元素の酸化物を含む磁性酸化物である請求項1～6に記載のスピン偏極素子。

【請求項8】 強磁性体と非磁性体が層状であり、前記層状の磁性体と、層状の非磁性体が交互に積層されることにより非磁性体を介して磁性体が接続された経路を形成した請求項1～7に記載のスピン偏極素子。

【請求項9】 非磁性体を介して強磁性体が接続された経路のうち、少なくとも一つの強磁性体-非磁性体-強磁性体経路において、粒状の強磁性体が非磁性体中に分散することにより非磁性体を介して強磁性体接続された経路を有する請求項1～7に記載のスピン偏極素子。

【請求項10】 粒状の強磁性体の平均粒径が 100nm 以下である請求項9記載のスピン偏極素子。

【請求項11】 非磁性体を介して接続された強磁性体の保磁力を H_{ci} とした時、非磁性体を介して接続された強磁性体各々の保磁力、 H_{c1} 、 H_{c2} の組において $H_{c1} < 1\text{kOe}$ かつ $H_{c2} > H_{c1}$ である組み合わせを少なくとも一つ持つ請求項1～10に記載のスピン偏極素子。

【請求項12】 非磁性体を介して接続された磁性体のうち少なくとも一つが反強磁性体に接続されている請求項1～10に記載のスピン偏極素子。

【請求項13】 請求項1～12に記載のスピン偏極素子と、前記スピン偏極素子に電流を供給する端子と、前記スピン偏極素子内での電圧降下を測定する端子を有したデバイス。

【請求項14】 請求項13に記載のスピン偏極デバイスを用いた磁気センサー。

【請求項15】 請求項13に記載のスピン偏極デバイスを用いた磁気記録読み取りヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁場により抵抗が変化するスピン偏極素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の、磁場により抵抗が変化する材料としては、異方性磁気抵抗効果を用いたAMR、強磁性金属と非磁性金属を積層し、各強磁性層の磁化相対角の変化による抵抗の変化を用いたGMR、強磁性金属を超薄の絶縁膜で分離し、絶縁膜をトンネルする電流が各強磁性金属の磁化相対角度により変化する事を用いたTMR、絶縁材料中に強磁性金属が分散しており、分散した強磁性金属の磁化方向が外部磁場で揃うことにより抵抗が変化するグラニューラー材料、磁場により誘起される絶縁体-金属相転移を用いたCMR等がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】これらの、磁場により抵抗が変化する素子に要求される特性は、できるだけ大きな抵抗変化率が室温で得られる事と、抵抗が変化する磁場が、用いようとする磁場範囲内にあることである。例えば、センサーや、磁気記録の際の読み取りヘッドとして用いる場合、できるだけ低い磁場で抵抗が変化的ことが必要である。

【0004】前記従来例のうち、パーマロイなどのAMR材料は、数Oeの低磁場で抵抗が変化するため、磁気記録の読み取りヘッドなどによく用いられてきたが、抵抗変化率が数%しかなく、感度を上げるのに限界がある。CMR材料は、室温で十数～数十%の抵抗変化率が得られるが、磁場が変化するためには少なくとも数kOeから、それ以上の高磁場を必要としている。グラニューラー材料も室温での抵抗変化率、動作磁場域に問題がある。

【0005】前記従来例のうち有望とされているのはTMRとGMR、およびGMRの一形態のスピンバルブ膜である。これらはいずれも強磁性金属中では磁化と平行なスピンの作るバンドと、反平行なスピンの作るバンドではエネルギー準位に差ができ、結果として、伝導に寄与するフェルミ面近傍の状態密度が、磁化に平行と反平行で異なり、スピンの偏極が生じる事を用いている。その特性は、用いる強磁性金属のフェルミ面近傍のスピン分極率に依存する事になるが、その分極率は単元素中もとても高いFeにおいても40～50%程度であり、そ

こから計算される抵抗変化率の最大値は約50%である。それ以上の値を得るためには、新たな工夫が必要となる。

【0006】本発明は、上記従来の問題を解決するために、強磁性体でありかつ半導体もしくはハーフメタルである物質のスピントラップを用いることにより、従来より大きな抵抗変化率を得られる、新規なスピントラップ素子を提供する事を目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するために、本発明のスピントラップ素子は、強磁性体と非磁性体からなり、かつ、少なくとも一つ以上、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路があり、かつ前記非磁性体を介して強磁性体が接合された経路を構成する強磁性体のうち少なくとも一つが半導体もしくはハーフメタルである構成を有している。強磁性体としてはフェロ磁性体、フェリ磁性体、キャンティ磁性体、メタ磁性体などを用いることができる。また、ここでいうハーフメタルとは、 Fe_3O_4 や $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ などの、磁化と平行なスピンのつくるバンドと、磁化に反平行なスピンのつくるバンドとのエネルギー差により、フェルミ面が実質的にどちらか片方のスピンのつくるバンドのみを横切る材料のことであり、半金属（セミメタル）とは異なる。

【0008】その際、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路のうちの、少なくとも一つ以上で、前記非磁性体が非磁性金属である場合、その厚みが $1\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。より好ましくは、 100nm 以下であることが望ましい。

【0009】また、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路のうちの、少なくとも一つ以上で、前記非磁性体が非磁性絶縁体である場合、その厚みが 10nm 以下である事が望ましい。

【0010】また、前記非磁性絶縁体としては磁性不純物の濃度が 100ppm 、より好ましくは 20ppm 以下である事が望ましい。

【0011】また、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路において、前記非磁性体のうち、少なくとも、半導体もしくはハーフメタルである強磁性体と接続される界面においては前記非磁性体は、 Cu 、 Rh 、 Pd 、 Ag 、 Ir 、 Pt 、 Au 、もしくはそれらの合金であることが望ましい。

【0012】また、非磁性体を介して接続された強磁性体でありかつ半導体である強磁性体のバンドギャップエネルギーとしては 1eV 以下である事が望ましい。

【0013】また、強磁性体としては主に Fe 、 Ni 、 Mn 、 Co から選ばれる少なくとも一種の元素の酸化物を含む磁性酸化物を用いることができ、その場合、 MF_2O_4 ($\text{M}=\text{Mn}$ 、 Zn 、 Fe 、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Mg 、 Li)、 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 MnZn フェライト、 NiZn

n フェライト、 CuZn フェライト、 $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ 等を用いることができ、特に、その中でも抵抗率が $100(\text{ohm}\cdot\text{cm})$ 以下であるものが望ましい。

【0014】また、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路を形成する際、強磁性体と非磁性体を層状にし、交互に積層する方法を用いることができる。

【0015】また、非磁性体を介して強磁性体が接続された経路を形成する際、粒状の強磁性体を非磁性体中に分散させることにより、形成することができる。その際、強磁性体の平均粒径は 100nm 以下である事が望ましい。

【0016】また、非磁性体を介して接続された強磁性体の保磁力を H_{ci} とした時、非磁性体を介して接続された強磁性体各々の保磁力、 H_{c1} 、 H_{c2} の組において $H_{c1} < 1\text{kOe}$ かつ $H_{c2} > H_{c1}$ である組み合わせを少なくとも一つ持つ、または、非磁性体を介して接続された強磁性体のうち少なくとも一つを反強磁性体に接続する事が望ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図1、2を用いて説明する。

【0018】（実施の形態1）図1(a)に本発明のスピントラップ素子の1例を示す。図1(a)においてFM11、強磁性金属材料であり、NM11は非磁性金属材料であり、FS11は強磁性半導体材料である。FM11はNM11を介してFS11と接続されている。

【0019】以上のように構成されたスピントラップ素子について、以下、その動作を述べる。

【0020】このスピントラップ素子に通電すると、荷電粒子は、平均自由行程 L 毎に散乱されながら、平均して電場の方向に移動していく。FM11の強磁性体金属中では伝導バンドが磁化の方向に平行と反平行のスピントラップ間でフェルミ面付近の状態密度に差があるため、スピンの偏極が生じている。NM11内でスピントラップ状態は、荷電キャリアが散乱される毎にスピントラップ確率 s で失われ、述べ sL の距離を移動するとスピントラップ状態はほぼ失われる。NM11の厚みを距離 sL に対して充分短くすると、スピントラップ状態が残留したまま荷電キャリアは、NM11を越えて強磁性半導体FS11内に伝導しようとする。しかし、FS11は強磁性体であるため、その伝導帯はFS11の磁化方向に平行と反平行のスピントラップ間でエネルギーに E_d の差が生じ、伝導帯の底から、エネルギー E_d のところまでは伝導帯の分極率はほぼ100%になっている。

【0021】結果として、FM11の磁化方向とFS11の磁化方向に応じて図1(a)のスピントラップ素子の抵抗は変化し、FS11における分極率が100%であるために、従来の磁性金属材料の接合を用いた場合に比べて大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0022】図1(b)においてFM21は強磁性金属材料であり、NI21は非磁性絶縁体であり、FS21は強磁性半導体である。FM21はNI21を介してFS21に接続されている。以上のように構成されたスピン偏極素子において、FM21では図1(a)の例と同様の理由でスピン偏極が生じており、また、FS21では図1(a)の例と同様の理由で伝導帯の底のスピン分極率がほぼ100%であるためにほぼ100%のスピン偏極が生じている。NI21が充分薄ければ、荷電キャリアはFM21から、スピンの状態を保持したまま、FS21内にトンネルしようとするが、FS21の伝導帯の底のスピン分極率が100%に非常に近いため、FM21の磁化方向と、FS21の磁化方向によってトンネル確率は大きく変化し、従来に比べ大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0023】図1(c)においてFS31は強磁性半導体であり、HM31は強磁性ハーフメタルであり、NI31は非磁性絶縁体である。FS31はNI31を介してHM31に接続されている。強磁性ハーフメタルHM31内では、磁化と平行なスピンのつくるバンドと、磁化に反平行なスピンのつくるバンドとのエネルギー差により、フェルミ面が実質的にどちらか片方のスピンがつくるバンドのみを横切るためにほぼ100%のスピン分極を生じている。ゆえに、以上のように構成されたスピン偏極素子においても図1(a)、(b)と同様に大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0024】図1(d)においてFM41、FM42は強磁性金属材料であり、NI41は非磁性絶縁体であり、FS41は強磁性半導体である。FM41、FS41はNI41を介してFM42に接続され、FM42同士もNI41を介して接続されている。以上のように構成されたスピン偏極素子においても同様の作用で大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0025】図1(e)においてFM51は強磁性金属材料、NI51は非磁性絶縁体、FS51は強磁性半導体、AF51は反強磁性体である。FM51とFS41はNI51を介して接続され、FS51はAF51に接続されている。AF51に接続されることによりFS51には1方向異方性がかかり、磁化方向が固定され、いわゆるスピンバルブ動作をするようになる。以上のように構成されたスピン偏極素子においても、強磁性かつ半導体もしくはハーフメタルである強磁性体の100%に近いスピン分極率によって、大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0026】なお、以上の説明では、強磁性金属-非磁性金属-強磁性半導体、強磁性金属-非磁性絶縁体-強磁性半導体、強磁性半導体-非磁性絶縁体-強磁性ハーフメタル、強磁性金属-(非磁性絶縁体-強磁性金属-非磁性絶縁体)-n-強磁性半導体の組み合わせで構成した例で説明したが、組み合わせ内に少なくとも一つ強磁

性、かつ、半導体もしくはハーフメタルである強磁性体を有していれば、任意の強磁性金属と強磁性半導体、強磁性金属とハーフメタル、強磁性半導体とハーフメタルを入れ替えても同様に実施可能である。また、任意の非磁性金属と非磁性絶縁体を入れ替えても同様に実施可能である。また、少なくとも一つ強磁性半導体を有し、少なくとも二つの強磁性体が、非磁性体を介して接続された組み合わせを有していれば、それらをさらに組み合わせた場合においても同様に実施可能である。

10 【0027】(実施の形態3) 図2に本発明のスピン偏極素子を用いたデバイスの例を示す。

【0028】図2において、FM61、FM62は強磁性金属材料であり、FS61は強磁性半導体でありNI61、NI62は非磁性絶縁体であり、S61、S62、S63は金属よりなる端子であり、I61は定電流源であり、V61は電圧計である。FM61にはS62、S63が接続され、また、FS61の内の一つが接続されている。FS61はNI62を介してFM62に接続され、FM62の一つには端子S61が接続されている。NI61は10nmより充分厚く、素子の上部と下部を電氣的に絶縁し、荷電キャリアができるだけ多くのFS61-NI62-FM62界面を通過する様にしている。I61は定電流源であるため、電圧計V61で読みとられる電圧はS61とS63間の抵抗値である。実施の形態1と同様の理由で、FS61-NI62-FM62ではFS61の磁化方向と、FM62の磁化方向で抵抗が変化する。FS61に、その保磁力 H_{CFS} がFM62の保磁力 H_{CFM} より大きい材料を選び、またFM62にパーマロイやセンダストなどの軟磁性材料を用いると外部磁場 H が $H_{CFS} > H > H_{CFM}$ の範囲で磁場により抵抗の変化するデバイスが実現される。

20 【0029】なお、以上の説明で用いた強磁性体、非磁性体の組み合わせ以外に、実施の形態1で挙げた何れの組み合わせを用いても同様に実施可能である。また、FM62に、その保磁力 H_{CFM} がFS61の保磁力 H_{CFS} より大きい材料を選び、またFS61にMnZnフェライトや、NiZnフェライトなどの軟磁性材料を用いると外部磁場 H が $H_{CFM} > H > H_{CFS}$ の範囲で同様の効果が実施可能である。また、強磁性金属FM62の代わりに反強磁性金属を用い、FM62に接続されたFS61に一方方向異方性を付与しても、同様に実施可能である。

【0030】

【実施例】以下に本発明の具体例を説明する。

【0031】(実施例1) 図1(a)、(b)、(c)に示した構造をスパッタ法、MBE法、蒸着法、レーザアブレーション法のいずれかを用いて、表1、表2、表3に示す材料及び厚みで作製した。作製に際しては、まず基板上にスパッタ法により第一の電極をもうけておき、次に所望の構造を作製し、500~2000(0

e)の磁場中、200～400℃でアニールした後、できた構造の表面に金線を圧着し、素子に定電流電源と電圧計をつないで疑似4端子回路を作製しサンプルの抵抗を測定した。アニール時の磁場方向と直角かつサンプル面内に、磁場を50～500Oe印加し、(印加時の抵抗) - (ゼロ磁場時の抵抗) / (ゼロ磁場時の抵抗) *

*抗)で定義される抵抗の変化率を、表1、表2、表3中の従来例と比較した。従来例より同程度の場合△、改善した場合○、劣化した場合×で示す。

【0032】

【表1】

材 料 厚	FM11	NM11	FS11	評 価
従来例 Λ	CoFe 200	Cu 20	CoFe 200	△
従来例 Λ	Co 100	Cu 50	NiFe 100	△
比較例 μ	Fe 1	Cu 10	MnZn 7x7μ	×
比較例 μ	NiFe 0.5	Ag 2	MnZn 7x7μ	×
実施例 nm	Fe 50	Cu 1000	NiZn 7x7μ	△
実施例 nm	NiFe 100	Cu 100	NiZn 7x7μ	○
実施例 nm	Co 50	Cu 10	MnZn 7x7μ	○
実施例 nm	Fe 50	Ag 10	MnZn 7x7μ	○

【0033】

※ ※【表2】

材 料 厚	FM21	N121	FS21	評 価
従来例 nm	CoFe 20	Al ₂ O ₃ 2	Co 20	△
従来例 nm	Fe 20	Al ₂ O ₃ 2	Fe 20	△
比較例 nm	Fe 50	Al ₂ O ₃ 20	MnZn 7x7μ	×
比較例 nm	Co 20	Al ₂ O ₃ 15	NiZn 7x7μ	×
材 料 厚	FM11	NM11	FS11	評 価
従来例 Λ	CoFe 200	Cu 20	CoFe 200	△
従来例 Λ	Co 100	Cu 50	NiFe 100	△
比較例 μ	Fe 1	Cu 10	MnZn 7x7μ	×
比較例 μ	NiFe 0.5	Ag 2	MnZn 7x7μ	×
実施例 nm	Fe 50	Cu 1000	NiZn 7x7μ	△
実施例 nm	NiFe 100	Cu 100	NiZn 7x7μ	○
実施例 nm	Co 50	Cu 10	MnZn 7x7μ	○
実施例 nm	Fe 50	Ag 10	MnZn 7x7μ	○

【0034】

★50★【表3】

材 料 厚	FM21	NI21	FS21	評 価
従来例 nm	CoFe 20	Al ₂ O ₃ 2	Co 20	△
従来例 nm	Fe 20	Al ₂ O ₃ 2	Fe 20	△
比較例 nm	Fe 50	Al ₂ O ₃ 20	MnZn 7x7μ 50	×
比較例 nm	Co 20	Al ₂ O ₃ 15	NiZn 7x7μ 10	×
実施例 nm	Fe 50	Cr ₂ O ₃ 10	MnZn 7x7μ 20	△
実施例 nm	Fe 50	SiO ₂ 2	MnZn 7x7μ 50	○
実施例 nm	Co 20	Al ₂ O ₃ 1	MnZn 7x7μ 20	○
実施例 nm	Fe 30	Cr ₂ O ₃ 1.5	NiZn 7x7μ 50	○
実施例 nm	Co 30	Al ₂ O ₃ 2	MnZn 7x7μ 20	○
実施例 nm	Fe 30	Al ₂ O ₃ +Co(30vol%) 10	NiZn 7x7μ 50	○
実施例 nm	Co 30	Al ₂ O ₃ +Fe(35vol%) 20	MnZn 7x7μ 20	○

【0035】この(表1, 表2, 表3)から明らかなように、本実施例によるスピン偏極素子は、従来のものに比べ大きな抵抗変化率が得られる。

【0036】なお、(表1, 表2, 表3)中の強磁性半導体FS11、FS21のNiZnフェライト、MnZnフェライトをハーフメタルであるFe₃O₄、La_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃に変えても同様の傾向が得られた。

【0037】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、非磁性金属もしくは非磁性絶縁体を介した強磁性金属の接合を利用した素子の、少なくとも一つの強磁性金属の代わりに強磁性かつ半導体もしくはハーフメタルである材料を用いることにより、高いスピン分極率よって、従来の強磁性金属材料の接合を用いた場合に比べて大きな抵抗変化率を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例のスピン偏極素子の構成図

【図2】 本発明のスピン偏極素子を用いたデバイスの一例の模式図

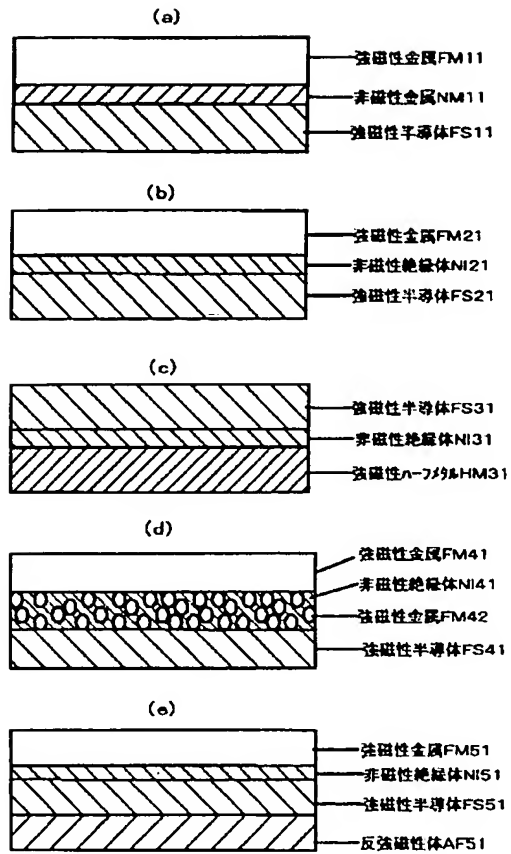
【符号の説明】

FM11 強磁性金属
FS11 強磁性半導体
NM11 非磁性金属
FM21 強磁性金属

* FS21 強磁性半導体
NI21 非磁性絶縁体
HM31 ハーフメタル
FS31 強磁性半導体
NI31 非磁性絶縁体
FM41 強磁性金属
FM42 強磁性金属
30 FS41 強磁性半導体
NI41 非磁性絶縁体
FM51 強磁性金属
NI51 非磁性絶縁体
FS51 強磁性半導体
AF51 反強磁性体
FM61 強磁性金属
FM62 強磁性金属
FS61 強磁性半導体
NI61 非磁性絶縁体
40 NI62 非磁性絶縁体
S61 端子
S62 端子
S63 端子
I61 定電流電源
V61 電圧計

*

【図1】



【図2】

